Environment Canada Environnement Canada

CLIMATE CHANGE DIGEST

Effects of a One Metre Rise in Mean Sea-Level at Saint John, New Brunswick, and the Lower Reaches of the Saint John River

CCD 87-04

Canada

88-03086/

CLIMATE CHANGE DIGEST

CCD 87-01 Canadian Climate Impacts Program

CCD 87-02 Implications of Climatic Change for Agriculture in Ontario

CCD 87-03 Implications of Climatic Change for Navigation and Power Generation in the Great Lakes

CCD 87-04 Effects of a One Metre Rise in Mean Sea-Level at Saint John, New Brunswick and the Lower Reaches of the Saint John River

Environment Canada Environnement Canada

EXECUTIVE SUMMARY OF THE REPORT

EFFECTS OF A ONE METRE RISE IN MEAN SEA-LEVEL AT SAINT JOHN, NEW BRUNSWICK AND THE LOWER REACHES OF THE SAINT JOHN RIVER

Prepared by Martec Limited
for the Atmospheric Environment Service, 1987

For: Climate Change Digest (CCD)
Canadian Climate Centre
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
M3H 5T4

DISCLAIMER

This publication contains a summary of the results of a study prepared under contract, by Martec Limited, to the Canadian Climate Centre. The views and opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily state or reflect those of the Government of Canada or any agency thereof.

Single copies of this publication may be obtained, free of charge, by writing to the:

Climate Program Office
Canadian Climate Centre
4905 Dufferin Street
Downsview, Ontario
M3H 5T4

Copies of the complete reports may be purchased by writing to the:

Martec Limited
5670 Spring Garden Road
Halifax, Nova Scotia
B3J 1H6

Published by Authority of the
Minister of the Environment

© Minister of Supply and Services
Canada 1987

Catalogue No. EN57-27/1987-04
ISBN 0-662-55564-3
ISSN 0835-3980

FOREWORD

The composition of the earth's atmosphere is undergoing a major global change. Human activities, such as deforestation, the burning of fossil fuels and even agricultural practices have significantly increased the amount of carbon dioxide and other "greenhouse gases" in the atmosphere. There is now growing scientific evidence that increasing concentrations of these gases could result, over the next few decades, in a rise of global mean temperature which is greater than any in man's history (Villach Conference, Austria, October 1985). Studies indicate that warming in the range of 1.5 - 4.5°C could be expected; in Arctic regions it is likely to be even greater.

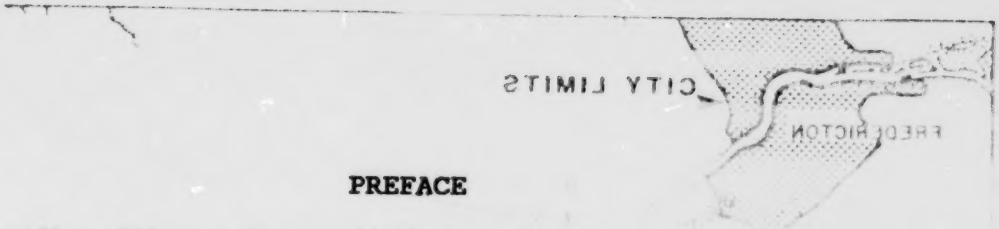
In the past few years, there has been an escalating international awareness of the dependence of various economic sectors on climatic fluctuations and on the implications of long-term climate change. Concerns have been expressed for the potential loss of coastal areas due to anticipated global sea level rises, destruction of the habitats of innumerable plant and animal species, and disruption of world agriculture, to name a few. At the same time, climate change offers the potential for significant economic opportunity. For Canada, this is likely to include an extension of the growing season and year-round shipping on the Great Lakes. The key element in successfully adapting to these changes will be our ability to mitigate the negative effects and to take advantage of the benefits.

In recognition of the impact of climate and climatic fluctuations on society, Canada established a Canadian Climate Program (CCP) in 1978 to integrate the efforts of various federal and provincial agencies as well as the universities and the private sector in the field of climatology. The Atmospheric Environment Service (AES) of Environment Canada was given responsibility as the lead agency for the program. One of the program's components has, since 1984, focussed on research studies to assess and identify the potential social and economic impacts of climate warming expected under a doubled carbon dioxide scenario. Most of these studies have been conducted under contract by Canadian universities.

While these and other studies over the last several years have clearly shown that increasing "greenhouse gas" concentrations have the potential for profound impacts on our physical environment, the results must still be treated as preliminary. There is general scientific agreement on the direction of long-term climate change, but uncertainty in the estimates of the magnitude and timing.

It is evident that additional studies are required in order to provide planning and policy information to all levels of government and private sector users. These would further serve to identify potential mitigative and adaptive strategies and be in keeping with Environment Canada's theme of "anticipate and prevent".

G. A. Sainte-Marie
Deputy Minister
Environment Canada



PREFACE

The Canadian Climate Centre (CCC) has funded a number of studies to investigate the potential impacts, on various sectors of the Canadian economy, of climate warming expected because of the increasing concentrations in the atmosphere of the "greenhouse gases". The equivalent of a doubling of the amount of CO_2 was the situation selected.

One of the direct results of global warming is expected to be a rise in sea-levels of from 20 to 140 cm or more by the middle of the next century. The rise in sea-level will have, in turn, significant implications for coastal areas.

The first issue of the Climate Change Digest identified the major socio-economic impact studies undertaken since 1984. A list of earlier titles in the series appears on the inside front cover. This fourth issue presents the summary results of a study of the potential implications of a one-metre rise in mean sea level at Saint John, New Brunswick. Material in subsequent issues will include other study summaries as well as some articles relevant to other climate change issues.

J.A.W. McCulloch
Director General
Canadian Climate Centre

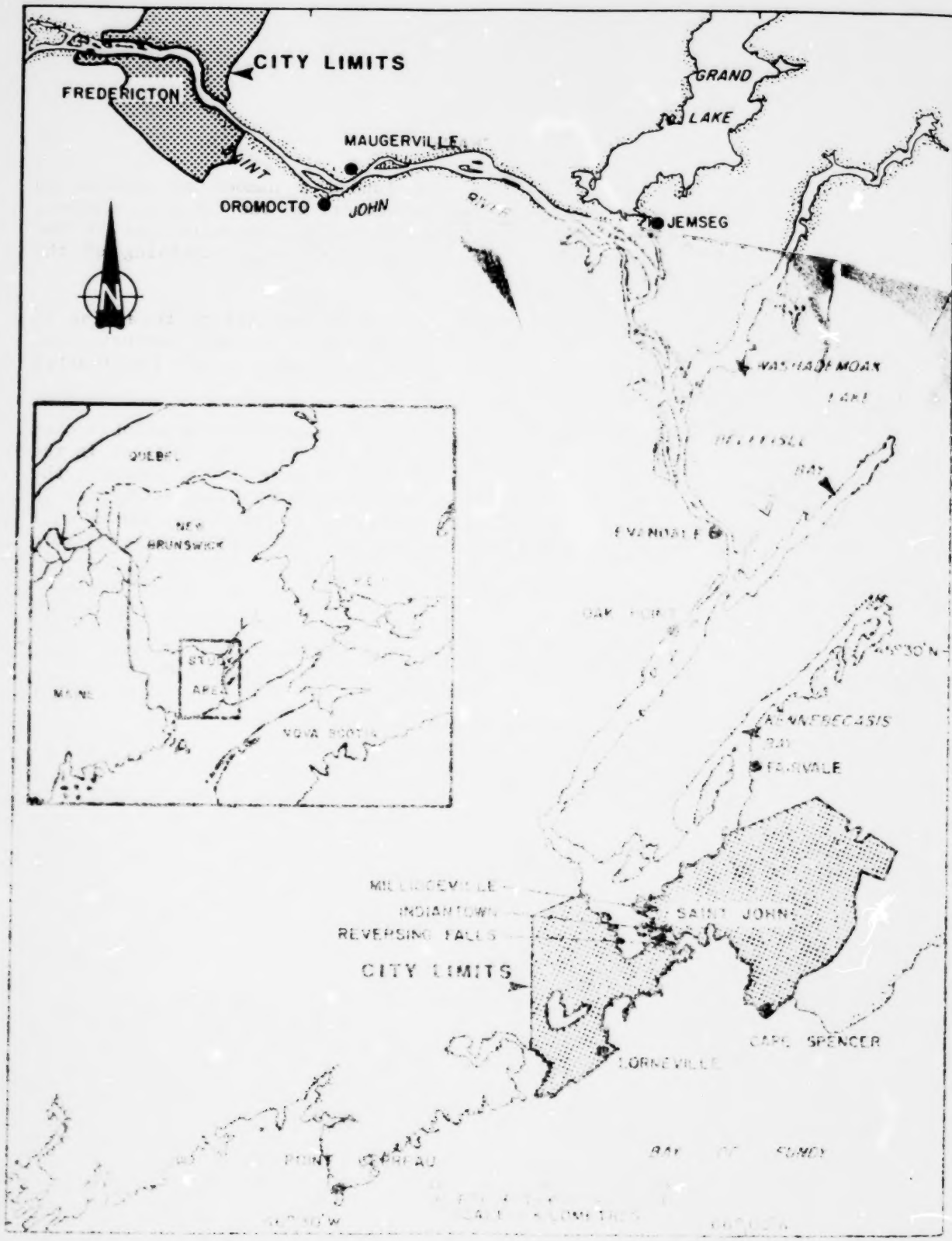


FIGURE 1

LOCATION MAP

Environment Canada, through the Canadian Climate program, has sponsored the study of the effects of a one metre increase in mean sea-level at Saint John, New Brunswick and the consequences this would have on flooding in the lower reaches of the Saint John River (see Figure 1). Recent studies sponsored by the National Academy of Sciences (Revelle, 1983) and other organizations (Hoffman et al., 1983) have suggested that global warming, induced by increased concentrations of carbon dioxide and other "greenhouse" trace gases, may result in a relatively rapid rise in sea-levels. The predictions about the amount of change varies from 20 cm to 140 cm or more by the middle of the next century (World Climate Program Newsletter, 1986).

The implications of the increased height of a coastal storm surge or river flooding associated with a one metre rise in mean sea-level can be generalized as follows. In Saint John:

- Two areas presently supporting residential communities are at risk.

- Road and rail transportation systems would be heavily affected by inundation resulting in extensive disruption and the isolation of the City from communities to the east.

- Industrial facilities located near the harbour, including the present sugar refinery and the ship yard, could be significantly affected.

- Sewage and industrial waste treatment lagoons would be inundated. Not only would this result in the release of large volume of contaminants over a short period of time, but also the systems would take some time to fully recover after the waters recede.

- The New Brunswick Power Plant in East Saint John is vulnerable to inundation in a storm surge. Flood proofing the main structure and switchyards would be required.

- Municipal Planning in the Marsh Creek and West Saint John areas would have to be reviewed to ensure that the increased potential for flooding or sea water inundation is recognized and addressed. The Courtenay Bay Causeway would have to be rebuilt and the sluicing structures modified to adequately protect areas of Marsh Creek behind the structure.

- Wharves around the harbour would be inundated.

Along the Saint John River the greatest risks are present in the low-lying land in an area bounded by Jemseg, Grand Lake and Maugerville.

- The richest farmland in the area is presently subject to flooding and the impacts can only be expected to increase as the frequency and duration of flooding increases. Different agricultural strategies and more flood proofing of homes, barns and machinery sheds may have to be considered to reduce the impacts of increased flooding.

- Increased flooding in the Jemseg-Maugerville section of the Trans Canada Highway will severely disrupt road transportation between Atlantic and Central Canada.

The objective of the study was to identify and map the 1:20 year and 1:100 year storm surge and flood levels associated with higher mean sea-levels, and identify the natural and human features and activities that may be at risk. The study covered an area from Lorneville Harbour to Cape Spencer on the Bay of Fundy, and from Saint John to Maugerville on the mainstem of the Saint John River.

The methodology used to identify the maximum water levels in Saint John Harbour differed from that used upriver. An analytical approach was used in the study of the harbour water levels whereas the Saint John River system was modelled numerically to determine the effects of the rise in mean sea-level.

A 39 year time series of hourly water levels collected at Saint John Harbour by the Canadian Hydrographic Service was used to calculate the storm surge associated with 1 in 20 year and 1 in 100 year events. Following standard extremal analysis procedures, the annual maxima of the dataset were statistically examined and found to be appropriate for extrapolation. Using a variety of extremal frequency distributions and fitting techniques, it was found that a three-parameter lognormal distribution, with the data fitted using the maximum likelihood technique, provided the best representation of the extreme water level regime in the harbour.

It has been assumed that a +1 m increase in mean sea-level would result in a +1 m increase in the 1 in 20 year and 1 in 100 year extreme levels. The validity of this relationship depends on how the tidal regime in the Bay of Fundy responds to increased water depths over the continental shelf. Greenberg (1986) has indicated that tides in the Gulf of Maine are predicted to increase by 1.7% for every 1 m rise in mean sea-level. If this holds true, then the tidal range at Saint John would increase from as much as 8.8 m for large tides under present conditions to 8.95 m if mean sea-level increases by 1 m. This increase is within the 90% confidence limits for the calculated extreme 1:100 year storm surge event. Consequently it is considered sufficiently accurate, for the purposes of this study, to translate the 1 m increase in mean sea-level as a 1 m increase in the extreme water elevations.

Water levels on the Saint John River are influenced primarily by the river discharge although sea-level does influence short term fluctua-

tions, particularly in the lower reaches below Evandale. Determination of the effects of a change in mean sea-level on river elevation was complicated by the complex hydraulics of the Reversing Falls which controls the exchange between the river and Saint John Harbour. Both analytical solutions (using specific mathematical relationships) and numerical approaches (using iterive techniques) to establish this interaction were considered. The variability of conditions due to the combined effects of runoff and tidal range, the nonlinear nature of the flow through the Reversing Falls, and large errors with the calibration of an analytical model indicated that a numerical approach was more appropriate. The computer model DWOPER (Dynamic Wave Operational model), which has been designed to simulate the response of a river to a variety of environmental factors, was chosen to represent numerically the lower reaches of the Saint John River System. This model is presently used as a flood flow forecasting tool for the Saint John River system. DWOPER employs an implicit finite difference technique to solve the complete one-dimensional St. Vincent equations of unsteady flow. The model represents the river system by including the effects of irregularly shaped cross sections at irregular intervals. Variable bottom roughness parameters, lateral inflows, flow diversions, off-channel storage, and tributaries are also considered (Fread, 1978). The model was run initially to replicate the existing 1 in 20 year and 1 in 100 year flood events, and then, to predict the one metre increase in near sea-level, rerun with the downstream boundary condition (i.e. Saint John Harbour) increased by +1 m.

The results of the analyses of maximum storm surge and river flood levels are shown in Table 1. The data indicate that the water level in Saint John Harbour during a 1:100 year storm surge will reach +6.0 m above Geodetic Datum while a 1:20 year surge will reach an elevation of +5.8 m. Along the Saint John River, flood water elevations will be as much as +0.8 m higher for comparable return periods. The computer analysis suggests that the flood hydrographs will be essentially the same, but

the return period for flood waters reaching a particular elevation will be reduced by a factor of 5. For example what is now the existing 1 in 100 year flood plain would become the 1 in 20 year floodway if mean sea-level increase by one metre.

TABLE 1

THE CALCULATED RESULTS OF A ONE METRE INCREASE IN MEAN SEA-LEVEL ON THE 1 IN 20 YEAR AND 1 IN 100 YEARS EXTREME WATER LEVELS IN SAINT JOHN HARBOUR AND SAINT JOHN RIVER

(metres above Geodetic Datum)

Location	Return Period			
	1:20	1:20 +1 m	1:100	1:100 +1 m
Saint John Harbour	4.83	5.83	4.99	5.99
Indiantown	4.6	5.3	5.3	6.1
Oak Point	4.8	5.6	5.6	6.3
Jemseg	5.4	6.0	6.0	6.7
Maugerville	6.1	6.6	6.6	7.1
Fredericton	7.3	7.5	7.8	8.0

To identify the possible effects of these increased water levels from storm surges and flooding, orthophoto mosaics were prepared, and the predicted water levels were drawn on the maps. The 1:100 year event was plotted on the appropriate contour on the mosaics. Natural and man-made features below this elevation were then identified and the potential effects of inundation assessed. Based on the size of the area affected, the type of activities and facilities present, and the possibility of implementing mitigating measures, a qualitative assessment of the potential risks were made. Risks were identified as extreme, high, and moderate. Low risk implies very minor effects and was therefore not included in the ranking system.

The overall assessment of potential risk indicates that the greatest effects will be experienced along the Bay of Fundy shoreline, particularly in the City of Saint John. The area of West Saint John behind the Container Terminal and Marsh Creek are potentially at extreme risk. Residential areas, major arterial roads, rail facilities and commercial activities would all be affected if these areas are flooded. The risks associated with potential inundation are high in the area around the Market Square and Atlantic Sugar Refinery developments, the Saint John Shipbuilding and Dry Dock facilities at Courtenay Bay, and the fresh water supply and power plant at Little River. Moderate risks are anticipated with the effect of a storm surge in Manawagonish Creek, Hazen Creek and the industrial area in Saint John Centre immediately below the Reversing Falls. An increase in shoreline erosion is expected in the coastal areas west of Saint John and in the vicinity of Red Head.

The potential risks in the reaches of the Saint John River between Saint John and Maugerville are smaller because the major factor controlling flood elevations on the river are controlled by freshwater inputs to the system, not changes in sea-level. The increase in inundation as a result of a rise in mean sea-level will be smaller than the potential effects along the Bay of Fundy shoreline. The consequent risks of increased flooding are therefore a matter of the degree of the change rather than a change in flooding patterns, or placing new areas at risk that have previously not been greatly affected by flooding. The extent of sea water (salt wedge) found upriver due to the increase in mean sea-level was determined to have the potential to displace some fish populations but the effects on the surrounding land areas will not be significant. Extreme risks associated with increased flooding are found in the area north of the river between Jemseg and Maugerville. Rich agricultural land and the Trans Canada Highway will face increased frequency and duration of flooding. A high risk of potential damage to the shorefront exists in Millidgeville, in Saint John Centre, in Fairvale and in the Oromocto area. In addition, the water pumping and sewage treatment

facility at Oromocto are at risk. A moderate risk exists at a number of isolated locations along the river, such as Morrisdale, Oak Point, Bellisle Bay and the Gagetown-Oromocto stretch, where low-lying areas currently used for agriculture and recreation may be affected.

While this study considered the generic implications of a one metre rise in mean sea-level, there is a need to begin a long term process of regional and local planning, and technical evaluations to ensure that the effects of the projected change in sea-level are minimized and the risks to natural and man-made features are properly identified and evaluated. Sea-level changes will have significant economic implications for both the public purse and private investors, and it is important that steps are taken early to ensure that the risks and preinvestment costs are minimized. Public education programs and long term planning are essential for managing the changes that a rise in sea-level will have for the City of Saint John, areas along the lower Saint John River, and indeed, all coastal areas in Canada.

References

Fread, D.L. 1978. National Weather Service Operational Dynamic Wave Model. Hydraulic Research Laboratory. National Weather Service, NOAA, Internal report 33 p.

Greenberg, D.A. 1986. "Time and Space Variations of Water Levels in the Bay of Fundy and Gulf of Maine" IN "Effects of Changes in Sea-Level and Tidal Range on the Gulf of Maine - Bay of Fundy System." Publ. 1, Acadia Centre for Estuarine Research.

Hoffman, John S., Dale Keyes, and James G. Titus. 1983. "Projecting Future Sea-Level Rise, Methodology, Estimates to the Year 2100, and Research Needs." GPO Report No. 055-000-00236-3, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office.

Martec Limited. 1987. "Effects of a One Metre Sea-level Rise at Saint John, New Brunswick and the Lower Reaches of the Saint John River." Prepared for Atmospheric Environment Service, Bedford, Nova Scotia, 114 p.

Revelle, R. 1983. "Possible Future Changes in Sea-Level Resulting from Increased Atmospheric Carbon Dioxide" IN "National Academy of Sciences Changing Climate," National Academy Press, Washington, D.C.

World Climate Programme Newsletter. 1986. "International Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts," Conference Statement from an international conference on Greenhouse Gases sponsored by ICSU, UNEP and WMO, Villach, Austria, October 1985.

Environnement Canada Environment Canada

SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Effets d'un hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer a Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean

SCC 87-04

Canada

SOMMAIRE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

SCC 87-01 Programme canadien des incidences climatologiques

SCC 87-02 Conséquences de changement climatique sur l'agriculture en Ontario

SCC 87-03 Répercussions d'un changement de climat sur la navigation et la production d'électricité dans les Grands Lacs

SCC 87-04 Effets d'un hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer a Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et au passage inférieur du Saint-Jean

Environnement Canada Environment Canada

RÉSUMÉ ADMINISTRATIF DU RAPPORT

EFFETS D'UNE HAUSSE D'UN MÈTRE DU NIVEAU MOYEN DE LA MER A SAINT-JEAN (NOUVEAU-BRUNSWICK) ET AU PASSAGE INFÉRIEUR DU SAINT-JEAN

Établi par Martec Limited
pour le Service de l'environnement atmosphérique, 1987

Pour : le Sommaire du changement climatique (SCC)
Centre climatologique canadien
4905 Dufferin Street
Downsview (Ontario)
M3H 5T4

DÉNÉGATION DE RESPONSABILITÉ

La présente publication renferme le résumé des résultats d'un étude menée en vertu d'un contrat par Martec Limited pour le Centre climatologique canadien. Les avis et opinions qui y sont exprimés sont ceux des auteurs. Ils n'expriment, ni ne reflètent nécessairement ceux du gouvernment du Canada ou de tout organisme de celui-ci.

Pour obtenir à titre gracieux des exemplaires de cette publication, écrire au :

Bureau du programme climatologique
Centre climatologique canadien
4905 Rue Dufferin
Downsview (Ontario)
M3H 5T4

Pour acheter des exemplaires des rapports au complet, écrire à :

Martec Limited
5670 Spring Garden Road
Halifax, (Nova Scotia)
B3J 1H6

Publie avec l'autorisation du
ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements
et Services Canada 1987

No de catalogue EN57-27/1987-04
ISBN 0-662-55564-3
ISSN 0835-3980

AVANT-PROPOS

L'atmosphère terrestre subit de grands changements dans sa composition à l'échelle mondiale. Les activités humaines, comme le déboisement, l'utilisation des combustibles fossiles et, même, les opérations agricoles ont nettement accru la quantité de gaz carbonique et d'autres "gaz de serre" de l'atmosphère. Il est de mieux en mieux établi du point de vue scientifique que l'accroissement de la concentration de ces gaz pourrait entraîner, au cours des prochaines décennies, une augmentation de la température moyenne mondiale supérieure à toute autre augmentation survenue depuis l'arrivée de l'homme sur terre (cf. conférence de Villach, Australie, octobre 1985). D'après les études, on pourrait s'attendre à un réchauffement mondial moyen de 1,5 à 4,5 °C; dans les régions arctiques, il est probable que ce réchauffement sera encore plus élevé.

Ces dernières années, on a de plus en plus pris conscience, à l'échelon international du fait que divers secteurs économiques sont tributaires des fluctuations climatiques et des répercussions du changement climatique à long terme. On appréhende la perte éventuelle de zones côtières due à la hausse mondiale prévue du niveau des mers, à la destruction des habitats d'innombrables espèces végétales et animales et à la perturbation de l'agriculture mondiale, pour ne citer que quelques sujets de préoccupation. Par la même occasion, le changement climatique offre éventuellement d'intéressantes possibilités économiques. Pour le Canada, celles-ci comprennent sans doute une prolongation de la saison de croissance et une navigation marchande active à longueur d'année sur les Grands Lacs. L'élément clef d'une bonne adaptation à ces changements sera notre aptitude à atténuer les effets négatifs et à tirer parti des avantages.

Ayant reconnu l'effet du climat et des fluctuations climatiques sur la société, le Canada a, en 1978, établi un Programme climatologique canadien pour intégrer les efforts de divers organismes fédéraux et provinciaux, ainsi que des universités et du secteur privé, dans le domaine de la climatologie. On a confié la responsabilité du programme au Service de l'environnement atmosphérique (SEA), d'Environnement Canada. Ce service est donc l'organisme responsable en la matière. Depuis 1984, un des éléments du programme se concentre sur les études de recherche destinées à évaluer et à déterminer les effets sociaux et économiques éventuels du réchauffement climatique auquel on s'attend suivant un scénario où la concentration de gaz carbonique doublerait. La plupart de ces études furent menées en vertu de contrats par des universités canadiennes.

Ces études et d'autres études réalisées au cours des dernières années ont clairement montré que l'accroissement des concentrations de "gaz de serre" peut bel et bien exercer des effets profonds sur notre milieu physique, mais il faut encore en considérer les résultats comme préliminaires. Les scientifiques s'entendent assez bien sur l'évolution du changement climatique à long terme, mais il existe de l'incertitude dans les estimations de l'ampleur et des échéances.

Il va de soi qu'il faut d'autres études pour fournir des renseignements de planification et d'orientation à tous les paliers d'administration et aux usagers du secteur privé. Ces études aideraient encore à établir les stratégies éventuelles d'atténuation et d'adaptation et répondraient au thème d'Environnement Canada : "Prévoir pour prévenir."

G.A. Sainte-Marie
Sous-ministre
Environnement Canada

PRÉFACE

Le Centre climatologique canadien (CCC) a financé plusieurs études touchant les effets éventuels, sur divers secteurs de l'économie canadienne, du réchauffement du climat prévu du fait de la concentration croissante des "gaz de serre" dans l'atmosphère. On a retenu le cas d'une quantité deux fois plus importante de CO_2.

Un des résultats directs du réchauffement du globe serait une hausse de 20 à 140 cm du niveau de la mer d'ici le milieu du prochain siècle. A son tour, cette hausse aura d'importantes implications pour les zones côtières.

Le premier numéro du Sommaire du changement climatique indique les principales études de prospective socio-économique entreprises depuis 1984. La liste des titres antérieurs de la série figure au verso de la première page de couverture. Ce quatrième numéro présente les résultats sommaires d'une étude des implications éventuelles d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer à Saint John (Nouveau-Brunswick). Les éléments de numéros ultérieurs comprendront d'autres résumés d'études, ainsi que des articles pertinents à d'autres questions de changement climatique.

J.A.W. McCulloch
Directeur général
Centre climatologique canadien

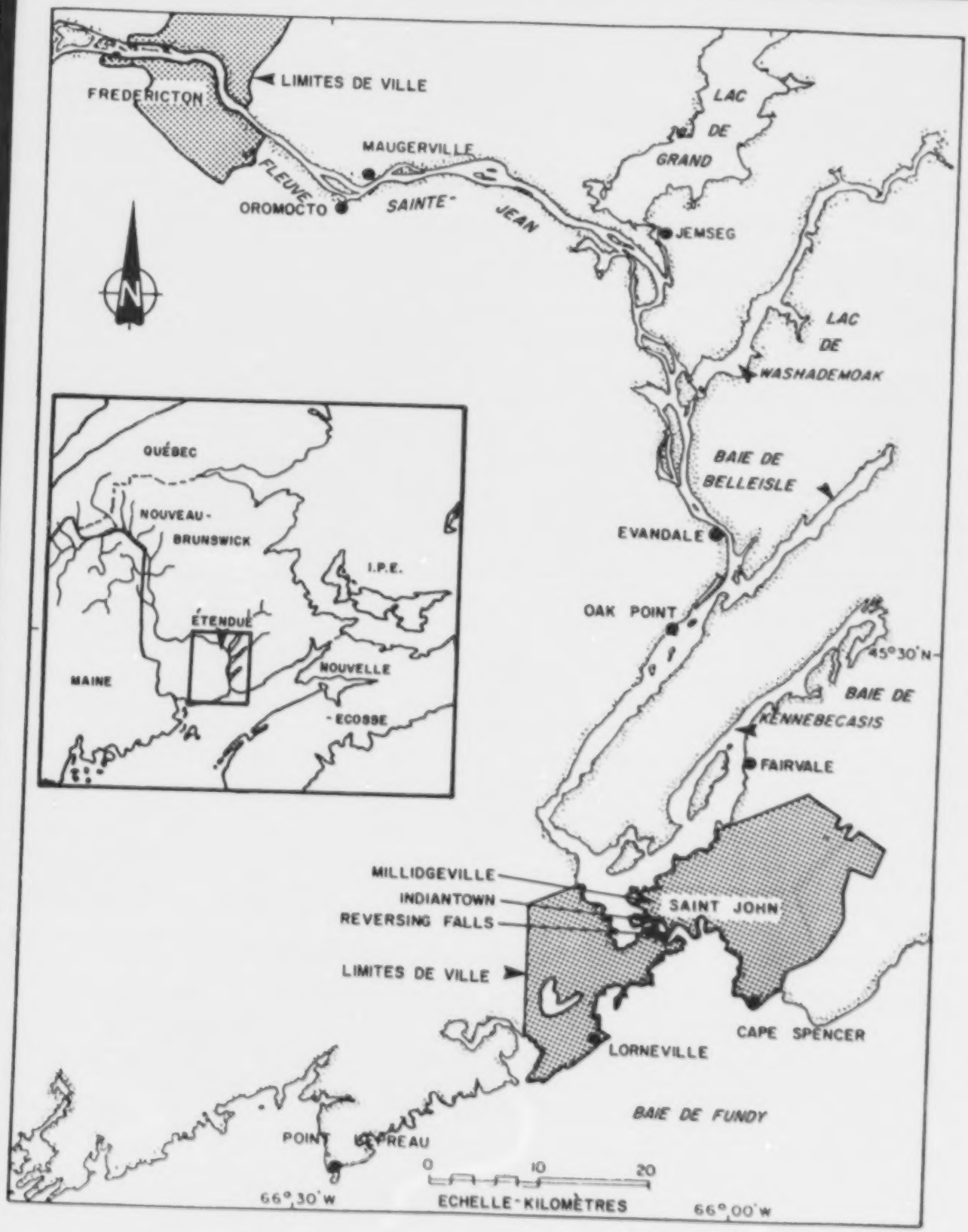


FIGURE 1

CARTE DU LOCALITE

En vertu du programme climatologique canadien, Environnement Canada a parrainé l'étude des effets d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer à Saint-Jean (Nouveau-Brunswick) et les conséquences qu'aurait cette hausse sur la crue du passage inférieur du Saint-Jean (voir figure 1). D'après de récentes études parrainées par la National Academy of Sciences (Revelle, 1983) et d'autres organismes (Hoffman et collaborateurs, 1983), le réchauffement mondial, provoqué par l'accroissement des concentrations de gaz carbonique et d'autres gaz "de serre" à l'état de trace, peut entraîner une élévation assez rapide du niveau de la mer. Suivant les prévisions, le niveau augmenterait de 20 à 140 cm et même plus d'ici au milieu du prochain siècle (Bulletin du programme climatologique mondial, 1986).

Les implications de la hauteur accrue d'une marée côtière de tempête ou d'une crue du cours d'eau découlant d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer peuvent être généralisées comme suit. A Saint-Jean :

- Deux régions qui abritent actuellement des collectivités sont exposées à des risques.

- Les systèmes de tranport routier et ferroviaire seraient fortement touchés par l'inondation, d'où de grandes perturbations et l'isolement de la Ville par rapport aux localités situées à l'est.

- Les établissements industriels situés près du port, y compris l'actuelle raffinerie de sucre et le chantier naval, pourraient être gravement touchés.

- Les lagunes de traitement des égouts et des déchets industriels seraient inondées. Ce phénomène libérerait un gros volume d'agents de contamination pendant une courte période et, en outre, les systèmes prendraient un certain temps à se rétablir entièrement après le retrait des eaux.

- La centrale hydro-électrique du Nouveau-Brunswick, à Saint-Jean- est, risque d'être inondée sous l'effet d'une tempête de marée. Il faudrait installer des dispositifs anti-inondation pour le bâtiment principal et les gares de triage.

- Il faudrait examiner la planification municipale des zones de Marsh Creek et de Saint-Jean-ouest pour s'assurer qu'on y a reconnu l'accroissement des risques de crue d'eau douce ou d'inondation par eau de mer, et qu'on y a prévu des mesures de protection. Il faudrait reconstruire la chaussée de Courtenay Bay et modifier les dispositifs d'écluses pour protéger convenablement les zones de Marsh Creek situées à l'arrière.

- Les quais du port seraient inondés.

Le long du Saint-Jean, les plus grands risques se présentent dans les zones basses de la région délimitée par Jemseg, Grand Lake et Maugerville.

- Les terres agricoles les plus riches de la région sont exposées à des inondations. Les effets ne peuvent que s'accroître, à ce qu'on s'attend, à mesure qu'augmentent la fréquence et la durée des inondations. Pour atténuer les effets de l'intensification des crues, il faudra peut-être envisager des stratégies agricoles différentes et installer plus de dispositifs anti-inondation aux maisons, granges et abris à machines.

- Dans le tronçon Jemseg-Maugerville de la Transcanadienne, l'intensification des inondations perturbera gravement les transports entre les provinces atlantiques et le centre du Canada.

L'étude vise à établir, en l'indiquant sur des cartes, le niveau des inondations et des tempêtes de marée survenant une fois en 20 ans et une fois en 100 ans lié à des niveaux moyens de la

mer plus élevés, ainsi qu'à déterminer les caractéristiques et les activités naturelles et humaines qui présentent des risques. Cette étude recouvre une zone allant du port de Lorneville au cap Spencer, sur la baie de Fundy, et de Saint-Jean à Maugerville, sur le tronçon principal du Saint-Jean.

La méthode utilisée pour déterminer le niveau maximal des eaux du port de Saint-Jean diffère de celle dont on s'est servi pour l'amont. En effet, on a adopté une démarche analytique dans l'étude du niveau des eaux du port, alors qu'on a établi le modèle numérique du réseau fluvial du Saint-Jean pour établir les effets de la hausse du niveau moyen de la mer.

Une série temporelle de 39 ans sur les niveaux horaires des eaux relevés au port de Saint-Jean par le Service hydrologique canadien a servi à calculer la marée de tempête liée à des événements survenant une fois en 20 ans et une fois en 100 ans. D'après la méthode normale d'analyse des extrêmes, on a constaté, après examen statistique des maximums annuels de la série de données, que ceux-ci convenaient à l'extrapolation. En adoptant diverses distributions de fréquences extrêmes et en utilisant diverses techniques d'ajustement, on a constaté qu'une distribution log-normale à trois paramètres, les données étant ajustées suivant la technique de la probabilité maximale, donnait la meilleure représentation du régime du niveau extrême des eaux du port.

On a supposé qu'une augmentation de 1 m du niveau moyen de la mer entraînerait une hausse de 1 m dans les niveaux extrêmes se présentant une fois en 20 ans et une fois en 100 ans. La validité de ce rapport dépend de la façon dont le régime des marées de la baie de Fundy réagit à la profondeur accrue des eaux du plateau continental. Greenberg (1986) a signalé qu'on prévoit, dans le golfe du Maine, une hausse de 1,7 p. 100 pour toute hausse de 1 m du niveau moyen de la mer. Si cette prévision s'avère juste, l'ampleur des marées, à Saint-Jean, passerait d'une valeur allant dans les conditions actuelles jusqu'à 8,8 m pour les grandes marées à 8,95 m en cas de hausse de 1 m du niveau moyen de la mer. Cette augmentation reste dans les limites de confiance de 90 p. 100 pour

l'événement de marée de tempête extrême calculé qui survient une fois en 100 ans. En conséquence, on estime qu'il est assez exact, pour cette étude, de faire correspondre une hausse de 1 m du niveau moyen de la mer à une hausse de 1 m de l'élévation extrême des eaux.

Le niveau des eaux du Saint-Jean est surtout influencé par le débit de ce cours d'eau, même si le niveau de la mer influe sur les fluctuations à court terme, en particulier dans le passage inférieur, au-dessous d'Evandale. La détermination des effets d'un changement du niveau moyen de la mer sur l'élévation du cours d'eau fut compliquée par l'hydraulique des chutes réversibles qui régit les échanges survenant entre le fleuve et le port de Saint-Jean. Pour établir cette interaction, on a étudié tant des solutions analytiques (utilisant des rapports mathématiques particuliers) que des solutions numériques (utilisant des techniques itératives). La variabilité des conditions attribuables aux effets combinés du ruissellement et de l'ampleur des marées, à la nature non linéaire du courant aux chutes réversibles ainsi que de grosses erreurs d'étalonnage d'un modèle analytique ont révélé qu'une méthode numérique convenait le mieux. Le modèle informatique DWOPER (modèle dynamique d'exploitation pour les vagues), conçu pour simuler la réaction d'un cours d'eau à divers facteurs environnementaux, fut choisi pour la représentation numérique du passage inférieur du réseau fluvial du Saint-Jean. A l'heure actuelle, ce modèle sert d'outil de prévision de l'écoulement de crue pour ledit réseau. Pour résoudre les équations complètes et unidimensionnelles d'écoulement irrégulier, le DWOPER recourt à une technique de différences finies implicites. Le modèle, qui représente le réseau fluvial, inclut à intervalles réguliers les effets de sections transversales de forme irrégulière. Les paramètres variables de rugosité de fond, les débits entrants latéraux, le détournement de courants, l'entreposage hors des chenaux et les affluents sont aussi examinés (Fread, 1978). A l'origine, on a exécuté le modèle pour reproduire les cas de crues qui surviennent une fois en vingt ans et une fois en cent ans, puis pour prévoir la hausse de 1 mètre près du niveau de la mer. On l'a exécuté de nouveau, en ajoutant 1 m à la limite en aval (port de Saint-Jean).

Le tableau 1 indique les résultats de l'analyse du niveau maximal des crues du cours d'eau et des marées de tempête. Les données révèlent que le niveau des eaux du port de Saint-Jean dépassera de 6 m le plan de référence géodésique pendant une marée de tempête survenant une fois en 100 ans, tandis qu'une marée de tempête survenant une fois en 20 ans atteindra une élévation accrue de 5,8 m. Le long du Saint-Jean, l'élévation des eaux de crues pourra dépasser de 0,8 m celle de périodes de retour comparables. L'analyse informatique donne à penser que les relevés hydrographiques des crues seront essentiellement les mêmes, mais que la période de retourdes eaux de crue qui atteignent un niveau particulier serait cinq fois plus courte. Par exemple, si le niveau moyen de la mer augmente d'un mètre, ce qui constitue présentement la plaine d'inondation survenant une fois en 100 ans deviendra un défluent de crue se formant une fois en 20 ans.

TABLEAU 1

EFFETS CALCULÉS D'UNE HAUSSE D'UN MÈTRE DU NIVEAU MOYEN DE LA MER POUR LES NIVEAUX EXTRÊMES D'EAU SE PRÉSENTANT UNE FOIS EN 20 ANS ET UNE FOIS EN 100 ANS AU PORT DE SAINT-JEAN ET DANS LE SAINT-JEAN

(en mètres au-dessus du niveau de référence géodésique)

	Période de retour			
Lieu	1/20	1/20 +1 m	1/100	1/100 +1 m
Port de Saint-Jean	4,83	5,83	4,99	5,99
Indiantown	4,6	5,3	5,3	6,1
Oak Point	4,8	5,6	5,6	6,3
Jemseg	5,4	6,0	6,0	6,7
Maugerville	6,1	6,6	6,6	7,1
Fredericton	7,3	7,5	7,8	8,0

Pour déterminer les effets éventuels de ces niveaux accrus sous l'effet des marées de tempête et des crues, on a préparé des orthophotomosaïques et tracé le niveau prévu des eaux sur les cartes. Le cas se présentant une fois en 100 ans fut pointé sur la

courbe de niveau correspondante des mosaïques. On a alors déterminé les caractéristiques naturelles et artificielles au-dessous de cette élévation et évalué les effets éventuels de l'inondation. D'après l'étendue de la zone touchée, le type des activités et des installations et la possibilité de prendre des mesures d'atténuation, on a établi l'évaluation qualitative des risques, qualifiés d'extrêmes, d'élevés et de modérés. Les faibles risques, qui correspondent seulement à des effets minimes, sont exclus du système de classement.

L'évaluation globale du risque indique que les plus gros effets se présenteront le long du littoral de la baie de Fundy, en particulier dans la ville de Saint-Jean. La zone de Saint-Jean-ouest située à l'arrière de la gare terminus à conteneurs et de Marsh Creek est exposée à des risques extrêmes. Si ces zones étaient inondées, les zones résidentielles, les artères principales, les installations ferroviaires et les activités commerciales seraient toutes touchées. Les risques liés à une inondation éventuelle sont élevés dans la zone d'aménagement de Market Square et de l'Atlantic Sugar Refinery, dans la zone des installations de construction navale et de cales sèches de Saint-Jean, à Courtenay Bay, et dans la zone de l'usine hydro-électrique et d'alimentation en eau douce, à Little River. On prévoit des risques moyens sous l'effet d'une marée de tempête à Manawagonish Creek, à Hazen Creek et dans la zone industrielle du Centre Saint-Jean, juste au-dessous des chutes réversibles. On s'attend à une augmentation de l'érosion du littoral dans les zones côtières de Saint-Jean et à proximité de Red Head.

Les risques du passage du Saint-Jean, entre Saint-Jean et Maugerville, sont plus faibles. En effet, le principal facteur qui y régit l'élévation des crues du fleuve dépend des apports d'eau douce au système, non pas de la variation du niveau de la mer. L'intensification des crues découlant d'une hausse du niveau moyen de la mer sera plus faible que les effets qui surviendront éventuellement le long du littoral de la baie de Fundy. Les risques d'une telle intensification sont donc fonction de l'ampleur du changement, plutôt que d'un changement de la configuration des

crues, ou visent de nouvelles zones qui, auparavant, avaient été plus ou moins épargnées par l'inondation. On a établi que l'étendue d'eau de mer (coin d'eau salée) trouvée en amont du fait de la hausse du niveau moyen de la mer pouvait déplacer certaines populations de poissons, mais que les effets sur les zones avoisinantes de terrain ne seraient pas importants. Dans la zone située au nord du fleuve, entre Jemseg et Maugerville, il existe des risques extrêmes liés à l'intensification des crues. Les riches terres agricoles et la Transcanadienne vont être exposées à des inondations plus fréquentes et plus longues. Un grand risque de dégâts au bord de l'eau se présente à Millidgeville, au Centre Saint Jean, à Fairvale et dans la région d'Oromocto. En outre, l'usine de pompage des eaux et de traitement des égouts d'Oromocto risque d'être touchée. Un risque moyen se présente à plusieurs endroits isolés en bordure du cours d'eau, comme Morrisdale, Oak Point, Bellisle Bay et la région allant de Gagetown à Oromocto, où les zones basses actuellement affectées à l'agriculture et aux loisirs peuvent être vulnérables.

Cette étude a étudié les implications génériques d'une hausse d'un mètre du niveau moyen de la mer, mais il convient d'entreprendre un processus à long terme de planification régionale et locale et des évaluations techniques pour s'assurer qu'on réduit au minimum les effets du changement projeté du niveau de la mer et qu'on détermine et évalue convenablement les risques présentés pour les éléments naturels ou artificiels. Le changement du niveau de la mer aura d'importantes implications économiques tant pour le trésor public que pour les investisseurs du secteur privé. Il importe qu'on prenne des mesures permettant de réduire au minimum les risques et les coûts préalables aux investissements. Les programmes d'éducation du public et la planification à long terme sont essentiels à la gestion des changements qu'une hausse du niveau de la mer provoquera pour la ville de Saint-Jean pour les abords du tronçon inférieur du Saint-Jean et, en fait, pour toutes les régions côtières du Canada.

Références

Fread, D.L., 1978. National Weather Service Operational Dynamic Wave Model. Hydraulic Reseach Laboratory. National Weather Service, NOAA, rapport interne, 33 pp.

Greenberg, D.A., 1986. "Time and Space Variations of Water Levels in the Bay of Fundy and Gulf of Maine" IN "Effects of Changes in Sea-Level and Tidal Range on the Gulf of Maine - Bay of Fundy System." Publ. 1, Acadia Centre for Estuarine Research.

Hoffman, John S., Dale Keyes et James G. Titus, 1983. "Projecting Future Sea-level Rise, Methodology, Estimates to the Year 2100, and Research Needs." GPO Report No. 055-000-00236-3, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office.

Martec Limited, 1987. "Effects of a One Metre Sea-level Rise at Saint John, New Brunswick and the Lower Reaches of the Saint John River." Établi pour le Service de l'environnement atmosphérique, Bedford, Nouvelle-Écosse, 114 pp.

Revelle, R., 1983. "Possible Future Changes in Sea-Level Resulting from Increased Atmospheric Carbon Dioxide" IN "National Academy of Sciences Changing Climate", National Academy Press, Washington, D.C.

World Climate Programme Newsletter, 1986. "International Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts", Conference Statement from an international conference on Greenhouse Gases sponsored by le CIUS, le PNUE et l'OMM, Villach, Autriche, octobre 1985.